“丝绸之路经济带”中国与中亚铀矿合作开发的前景与对策

毛汉英[1*]　曲建升[2]　李耀明[3]　包少勇[1]

1 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101
2 中国科学院兰州文献情报中心 兰州 730000
3 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011

摘要　中亚的哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦是全球铀矿资源富集区之一，具有铀矿资源储量大、分布集中、开采条件较好等特点。自 2009 年以来，中亚铀矿开采量长期居世界首位，2016 年占世界铀矿总开采量的 43.5%（其中 91% 分布于哈萨克斯坦）。中国与中亚铀矿合作始于 2005 年，自 2010 年以来发展较快。文章分析了中国与中亚铀矿合作开发的必要性和可行性，阐述了合作开发模式从铀矿贸易、铀矿勘探开发发展到核燃料组件加工，并对合作开发的前景作了预测。主要结论为：2030 年以前中亚铀矿可满足中国核电发展对进口天然铀需求量的 70%—75%；其后，随着中亚铀矿资源的快速消耗，2035 年保障程度降至 40%—50%。最后，文章提出了加强和深化中国与中亚铀矿合作的对策建议：以“五通”理念引领合作开发，尽快编制《中国与中亚铀矿合作开发规划纲要》，明确未来合作开发的重点，不断提高中资企业在合作开发中的地位作用，重视防范和化解合作开发的风险。

关键词　中国，中亚地区，铀矿，合作开发，前景，对策

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2018.06.004

铀是一种极为稀有的放射性元素，不仅是清洁能源核能发电的燃料来源，而且高浓缩铀及其后处理得到的钚是制造核武器的原料。因此，铀作为当今世界重要的战略资源，对于维护国家安全、减少温室气体排放和全球气候变化具有特殊重要的地位。自第二次世界大战以来，铀矿资源一直是美、苏（俄）、日、欧盟等大国和地区争夺的主要对象。2015 年，世界各国和地区对天然铀的需求量为 6.34 万吨；其中，美国占 28.6%，欧盟占 29.5%，俄罗斯占 9.9%，中国占 8.4%，韩国占 7.9%[1]。此外，在冷战时期，苏、美两国均囤积了大量的铀矿（U_3O_8）及浓缩铀等产品，以满足其扩军备战的需要。

*通讯作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项课题（XDA20040400），中国科学院重点部署项目（ZDRW-ZS-2016-6-2）
修改稿收到日期：2018年6月7日

铀在地壳中的平均含量仅为2/10^6，分布极不平衡。根据国际原子能机构（IAEA）和经合组织（OECD）2016年发布的铀资源红皮书提供的数字，截至2015年1月，全球具有较高商业开采价值、回收成本<130美元/千克铀的确定储量（探明储量+推断储量）为571.84万吨；其中，澳大利亚占29.1%，哈萨克斯坦占13.0%，加拿大占8.9%，俄罗斯占8.9%，南非占5.6%，尼日尔占5.1%，以上6国合计占70.6%[1,2]。

世界铀矿开采亦呈高度集中态势。2016年，全球铀矿开采量为62 027吨铀（折合U_3O_8 73 148吨），其中，哈萨克斯坦占39.6%，加拿大占22.6%，澳大利亚占10.2%。上述3国合计占72.4%[1,2]。

1 中亚地区铀矿资源分布与开发利用现状

中亚地区包括哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦5国。在20世纪90年代以前，中亚地区除土库曼斯坦外，其他4国均发现并开采铀矿。其后，吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦由于资源枯竭而先后废弃，因而目前铀矿资源及开采主要分布于哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦两国。

1.1 中亚地区铀矿资源及分布特点

1.1.1 铀矿资源储量大

据国际原子能机构2016年公布的世界各国铀矿资源数据，中亚地区铀矿资源中，回收成本<40美元/千克铀、<80美元/千克铀、<130美元/千克铀和<260美元/千克铀的确定储量分别为15.57万吨、72.54万吨、87.54万吨和101.7万吨铀，分别占世界同类回收成本铀矿确定储量的24.1%、34.1%、15.3%和14%[1]。

中亚地区铀矿品位一般为0.05%—0.10%。以哈萨克斯坦为例，现已开采的18个铀矿中，最低品位为0.03%，最高品位达0.204%（北哈拉桑1号矿）[3]。

1.1.2 铀矿资源分布集中

哈萨克斯坦不仅是中亚也是世界著名的铀矿资源富集区之一，其资源总储量（确定储量+预测储量）为152万吨铀，占世界铀矿总储量的19%，其中回收成本<130美元/千克铀的确定储量为74.53万吨铀，占世界该回收成本铀矿确定储量的13%[1,3-5]。现已探明的铀矿有50多个，主要分布于哈萨克斯坦的中南部和南部，现已开采的有3个矿区。

（1）*楚河—萨雷苏河铀矿区*。位于哈萨克斯坦中南部的两条内陆河流——楚河上游与萨雷斯河下游地区，地处莫因库姆沙漠的西部。铀矿资源储量为89万吨，约占该国总储量的58.5%[5]。其中，其北矿区包括东、中、西莫库杜克矿（Mynkuduk）以及因凯矿（Inkai）、布德诺夫斯科耶（Budenovskoe）矿等，铀矿资源储量75万吨铀，约占该矿区的84.3%；东矿区包括托尔特库杜克（Toutkuduk）、莫因库姆（Moinkum）和坎楚干矿（Kanzhugan）等，铀矿资源储量14万吨铀。

（2）*锡尔河铀矿区*。位于哈萨克斯坦南部中亚第一大河锡尔河下游沿岸地区，铀矿资源储量25万吨，占全国的16.4%[5]。其中，西矿区包括哈拉桑1矿与2矿（Kharasan 1和2），南、北卡拉木隆矿（Karamurun）及伊尔科尔矿（Irkel），资源储量共18万吨铀；南矿区主要有扎列奇诺耶矿（Zarechnoye）和南扎列奇诺耶矿，资源储量7万吨铀。

（3）*北哈萨克斯坦铀矿区*。位于首都阿斯塔纳东北150公里处，现已探明有舍米兹拜矿（Semizbai）及"东部之星"铀矿（Vostok Zvezdnoye），资源储量25.6万吨铀，占该国总储量的16.8%[5]。

（4）*其他铀矿区*。主要有：哈萨克斯坦东南部的伊犁河及巴尔喀什铀矿区，铀矿资源储量为10.2万吨铀，占该国储量的6.7%；哈萨克斯坦西部里海沿岸曼吉斯套铀矿（Mangghystau），资源储量为2.4万吨，占该国储量的1.6%[5]。上述两个矿区现均未开采。

乌兹别克斯坦铀矿主要分布于其中北部克孜勒库姆沙漠的南缘。据该国国家地矿资源委员会提供的数据，其全国已探明和评估的铀矿储量为18.58万吨铀；此外，还有远景预测储量24.27万吨铀。铀矿资源集中分

布于该国西北—东南向，即从乌奇库杜克（Uchkuduk）到努拉巴德（Nurabad）长约 400 公里的狭长区域，分北、中、南 3 片，主要矿区有乌奇库杜克、布坎套（Bukantausky）、扎拉夫尚（Zarafshan）、扎法拉巴德（Zafarabad）和努拉巴德等[6,7]。

1.1.3 以砂岩型铀矿为主

砂岩型铀矿是产于砂岩、砂砾岩等碎屑岩中的外生后成铀矿床，通常赋存于沉积盆地。在哈萨克斯坦回收成本 <130 美元/千克铀的确定储量中，砂页岩型铀矿占比为 93.3%，其余为磷酸盐型矿和交代岩型矿[4]。乌兹别克斯坦回收成本 <130 美元/千克铀的确定储量中，砂页岩型铀矿占 74.7%，黑色页岩型铀矿占 25.3%。砂岩型铀矿一般矿床规模较大，适宜于大规模开采[7]。

1.2 中亚地区铀矿资源开发利用现状

1.2.1 铀矿开采规模大，产量居世界首位

中亚地区铀矿资源大规模开采始于 20 世纪 70 年代。在苏联时期，乌兹别克斯坦铀矿年产量最高曾达 3 800 吨铀。20 世纪 90 年代，随着哈萨克斯坦一批新铀矿山的相继建设与投产，铀矿产量从 2000 年以前不到 3 000 吨铀激增至 2005 年的 6 837 吨，2009 年更达到 16 449 吨铀，占世界铀产量的 32.4%，此后产量一直稳居世界首位。2016 年，中亚地区铀矿开采量为 26 979 吨铀，占世界总产量的 43.5%；其中哈萨克斯坦年产 24 575 吨铀，占世界总产量的 39.6% 和中亚地区总产的 91.1%[1,2]。

1.2.2 铀矿以地浸法开采为主，生产成本较低

中亚地区铀矿资源储量中，砂岩型铀矿占比超过 70%。由于这类铀矿采用开采成本较低的原地浸出工艺开采，较通常的井下或露天开采法具有生产成本低、建设周期短、环境友好（不破坏地表覆被和土层结构）等特点。2014 年，哈萨克斯坦开采的铀矿中，约有 50% 开采成本低于 78 美元/千克铀，28% 开采成本为 78—104 美元/千克铀，只有 22% 开采成本高于 104 美元/千克铀，而同期国际市场铀的现货平均价格为 94 美元/千克铀，因而其产品在国际市场上具有较强的竞争力[4,8-10]。

1.2.3 铀矿山分布较集中，规模较大

哈萨克斯坦现开采的铀矿山有 18 个，其中年开采量大于 1 000 吨铀的大型铀矿山有 9 个，主要分布于哈萨克斯坦中南部的楚河—萨雷苏河地区。该地区分东、北两个矿区，包括 11 座铀矿山，2015 年铀矿开采量为 18 313 吨铀，占该国铀矿总产量的 76.9%。其次为哈萨克斯坦南部的锡尔河矿区，共有 5 座大型铀矿山，2015 年铀矿开采量 5 034 吨铀，占全国产量的 21.2%。此外，哈萨克斯坦北部的阿克莫拉铀矿区因开发较晚，目前仅有舍米兹拜和扎尔帕克（"东部之星"）两座铀矿投产[4,5,10]。

乌兹别克斯坦现有铀矿山 13 座。其中，北矿区的乌奇库杜克铀矿于 1964 年投产，年产能 800 吨；南矿区的努拉巴德铀矿于 1966 年投产，年产能 800 吨；中部矿区的扎法拉巴德铀矿于 1968 年投产，年产能 2 100 吨。所开采的铀矿全部运至纳沃伊矿冶联合公司进行加工，设计能力为年产 3 000 吨铀（U_3O_8）[3,6,7]。

1.2.4 铀矿开采全部出口，中、俄两国合占其出口量的 70% 以上

由于哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦迄今都没有核电站，因而中亚所开采的铀全部用于出口。2010 年以前，铀矿出口国家相对分散，包括俄罗斯、欧盟（主要为法国）、美国、中国、日本及韩国等。自 2010 年以来，随着中国与哈、乌两国铀矿合作开发步伐的加快，中国成为中亚地区天然铀的最大进口国。据联合国商品贸易数据库（UN Comtrade）统计，2015 年哈萨克斯坦出口的 2.87 万吨天然铀中，中国占 49.5%，俄罗斯占 21.8%，法国占 11.3%，加拿大占 8.2%，美国占 4.8%，吉尔吉斯斯坦占 3%[11]，其中中、俄两国合占 71.3%。乌兹别克斯坦开采的天然铀主要出口中国、法国、美国及俄罗斯，其中中国占比约 60%[12]。

1.2.5 铀矿开采由国家控股，外国公司占 40%

独立以后，哈萨克斯坦铀矿开采由哈萨克斯坦原子能工业公司（以下称"哈原工"）控制。2014 年，哈原

工占全国铀矿开采量的 60%（13 601 吨铀），而外国合资企业占 40%（9 180 吨铀）[1,10,13]。主要外国公司有：加拿大一号铀业公司、加拿大卡梅科公司、法国阿海珐公司、俄罗斯国家铀矿控股公司、日本能源公司、日本住友集团、日本关西电力公司、中国核工业集团（以下称"中核"集团）和中国广东核工业集团（以下称"中广核"集团）。乌兹别克斯坦铀矿开采的主管部门为国家地质矿产资源委员会，由国有公司垄断铀矿的勘探、开发与出口，参与合作开发的外国公司有：韩国电力技术公司、韩国水电与核电有限公司及中广核集团等。

2 中国与中亚铀矿合作开发的背景及模式

中国与中亚地区合作开发铀矿作为一项互利、共赢的战略合作，既是提高中国核电发展的资源保障程度的需要，同时也是促进哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦经济社会持续发展的需要，具有重大的战略意义。

2.1 合作开发的必要性

2.1.1 中国铀矿资源远不能满足本国需要

中国是铀矿资源不甚丰富的国家。尽管 2005 年以来，中国在铀矿勘探方面投入了大量的资金、技术，也相继在新疆伊犁及吐哈盆地、内蒙古东胜及二连盆地、东北的松辽盆地等相继发现了一批新铀矿，但迄今铀矿资源储量及在世界占比仍较小。根据国际原子能机构 2016 年发布的铀资源红皮书，截至 2015 年 1 月，中国铀矿资源储量中，回收成本 <130 美元/千克铀的确定储量为 27.25 万吨，仅占世界总储量的 4.8%，位居世界第 9 位；其中探明储量 12.83 万吨，推断储量 14.42 万吨，分别占世界的 3.7% 和 6.4%[1]①。

中国除铀矿储量不甚丰富外，还存在以下一些不利条件[14-16]：① *铀矿成矿条件及类型复杂*。中国铀矿按矿床类型可分为花岗岩型、火山岩型、砂岩型和碳硅泥岩型 4 种，其储量分别占全国储量的 38%、22%、19.5% 和 16%。② *铀矿品位偏低*。矿石以中低品位为主，其中含铀品位小于 0.1% 的贫矿占总储量的一半以上，且与硫、磷及有色和稀有金属共生。③ *矿产规模普遍较小*。现已探明提交的 300 多个铀矿床中，中小型矿占总储量的 60% 以上，其中花岗岩型铀矿床平均储量不到 500 吨铀。④ *矿床赋存条件较差*。如普遍埋藏较深，围岩岩性多变。全国已探明的铀矿储量中可采用地浸法开采的占比仅 24%（而 2014 年世界平均为 46%），绝大部分需井下开采[15,16]。以上不利因素是导致我国铀矿建设条件差、单位投资较大、开采成本较高的主要原因。

根据国际原子能机构发布的数据，1998—2000 年中国铀矿年均产量为 500 吨铀；2007 年 10 月，随着《国家核电发展中长期规划（2005—2020 年）》出台，明确将核电作为我国新能源发展的重点，推动了铀矿资源的勘探与开发。根据世界核能协会（WNA）统计，中国铀矿开采量从 2007 年的 712 吨铀，增长到 2015 年的 1 616 吨铀，增长了127%。与此同时，随着新核电机组的大量投产，对铀的需求量呈快速增长态势，从 2007 年的 1 454 吨铀增至 2015 年的 8 160 吨铀，增长了 461%，相应地铀矿资源的对外依存度也从 2007 年的 51% 上升至 2015 年的 80.2%[1,2]，铀矿的产需缺口越来越大。

2.1.2 中国未来 20—30 年对核燃料的需求将持续快速增长

核能作为清洁能源，是全球未来新能源发展的主要方向。中国作为一个负责任的大国，自 20 世纪 90 年代初开始，与国际社会一起积极参与《联合国气候变化框架公约》《京都议定书》《哥本哈根议定书》及《巴黎协定》缔约谈判。2009 年 12 月，中国政府在哥本哈根召开的《联合国气候变化框架公约》第 15 次缔约方会议上承诺：在 1990—2005 年单位国内生产总值 CO_2 排放强度下降 46% 的基础上，到 2020 年单位国内生产总值 CO_2 排放量比 2005 年下降 40%—45%。2015 年在《巴黎协定》缔

① 唐文忠。我国核电发展的铀资源保障。核电站新技术交流研讨会，2014。

约谈判中，中国政府承诺：到2030年非化石能源占一次能源消费总量的比重达20%，CO_2排放于2030年左右达到峰值并争取早日实现。

基于上述目标，2011年3月十一届全国人大四次会议通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出，要以沿海核电带为重点，稳步推进中部省份核电建设，开工建设核电装机4 000万千瓦。2016年3月通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》，要求到2020年核电运行装机容量达到5 800万千瓦，在建装机容量3 000万千瓦以上，核电发电量占比达4%。截至2016年年底，中国大陆地区核电站运行的核反应堆35座，总装机容量3363.2万千瓦，核能发电量2 132亿千瓦小时，占全国电力装机容量的2.04%和发电量的3.56%；另有在建核反应堆21座，总装机容量2 344万千瓦（《中国能源报》，2017-03-09）。根据国家能源局编制的核电"十三五"发展规划，预计到2030年核电装机规模将达1.2亿—1.5亿千瓦，核电发电量占比提升至8%—10%（《中国经济导报》，2016-07-22）。按照我国新投产的和在运营的每百万千瓦核电机组年所需的初装料和换料等技术经济指标测算，2020年天然铀需求量为11 000—11 500吨铀，2030年为24 000—25 000吨铀[16-19]②。届时天然铀的对外依存度将分别达65%和77%[20]。

2.2 合作的可行性分析

2.2.1 良好的地缘政治与区位交通优势

中亚五国是中国的近邻，与中国有3 300多公里的边界线；自1991年相继脱离苏联独立后，在20世纪90年代后期先后与中国签订了边界协定。2001年，中、俄、哈、吉、塔、乌六国宣布成立上海合作组织，建立了睦邻友好的地缘政治关系，2011年又上升为全面战略合作伙伴关系。2013年9月，中国国家主席习近平在访问哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦期间，提出了共建"丝绸之路经济带"的倡议，得到了包括中亚五国在内的沿线40多个国家的广泛响应。该倡议不仅有利于推动建立国际政治、经济、安全新格局，而且也为中国与哈、乌两国开展包括铀矿在内的能源合作奠定了坚实的基础。

中亚铀矿富集区位于"丝绸之路经济带"的中通道（新亚欧大陆桥）及中通道南支（正在建设中的中国喀什—吉尔吉斯斯坦—费尔干纳—塔什干—里海铁路）沿线，近年相继与中国沿海及中西部主要城市开通了直达班列，运输联系便捷。

2.2.2 推进"丝绸之路经济带"产能合作的需要

在推进"丝绸之路经济带"共建过程中，产能合作是其中的重要组成部分，不仅可为促进沿线国家经济社会发展、增加就业岗位、改善民生带来了实实在在的好处，同时也可推动中国的钢铁、装备制造、有色冶金、建材、化工、轻纺等优势产业走出去，实行优势互补，形成国际产能合作与国内产业转移升级的良性互动。

中国在铀矿资源勘探开发、核燃料组件加工生产以及核电站建设等方面均拥有成熟的先进技术与产能。如中国自主研发的第三代核电技术"华龙一号"已于2016年投入运行。通过与中亚主要产铀国的产能合作，不仅有利于这些国家提高铀矿勘探开发技术，延伸铀矿产业链，提高铀矿开发的综合经济效益，从而提升其产品在国际市场的竞争力，同时也可满足中国对天然铀的需求，实现互利共赢。

2.2.3 具有良好的合作开发与投资环境

良好稳定的政治与投资环境是开展铀矿合作开发的前提条件。

（1）建立了中亚无核化地区。在苏联时期，哈萨克斯坦不仅是核武器的试验基地，而且还储存大规模核武器。哈萨克斯坦独立后，1992年5月纳扎尔巴耶夫总统公开声明，哈萨克斯坦不做核国家；并于1993年12月正式签署《核不扩散条约》，拆除全部核试验设施。

② 唐文忠。我国核电发展的铀资源保障。核电站新技术交流研讨会，2014。

2002年9月，中亚五国就建立"中亚无核区"达成一致认识；2006年9月，在哈萨克斯坦的塞米巴拉金斯克共同签署《中亚无核区条约》，但该条约并不禁止和平利用核能。

（2）政治环境较稳定。哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦自1991年独立后，政局一直比较稳定。两国均奉行独立自主、与中亚邻国及中国睦邻友好、抵制西方势力渗透的外交政策。良好的政治环境，促进了经济社会的持续较快发展，同时也为吸引外商投资和开展铀矿合作开发奠定了可靠的基础。

（3）投资软环境总体良好。哈、乌两国独立后，实行对外开放政策，将吸引国外资金、技术和人才作为发展本国经济的长期任务和优先目标，并制定了一系列政策法规。例如，哈萨克斯坦于1994年12月出台了《外国投资法》；1997年2月又通过了《国家支持直接投资法》；2003年1月又在上述两法的基础上，颁布了《哈萨克斯坦共和国投资法》。乌兹别克斯坦也相继推出《外国投资法》和《外国投资及保障外国投资法》，2012年又颁布《关于促进外国直接投资补充措施》等；规定了对外商提供土地使用权和减免税收等优惠政策，为加快铀矿资源的合作开发提供了政策保障。

（4）投资硬环境明显改善。2010年以来，哈、乌两国在包括交通、通讯、能源、供水等基础设施在内的投资硬环境也得到了较大改善。例如，哈萨克斯坦修建了由塔拉兹通往楚河—萨雷斯铀矿区和由突厥斯坦通往锡尔河铀矿区的铁路、电力、通讯及输水管；乌兹别克斯坦也建成了由纳沃伊通往乌奇库杜克铀矿区的铁路、电力、通讯与输水管等，具备了进行大规模合作开发的基础设施条件。

2.3 合作开发的主要模式

中国与中亚铀矿合作开发始于2005年，虽起步较西方国家晚了近10年，但合作开发的步伐较快，并取得了互利共赢的效果，即：哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦通过合作，加快了铀矿开发和所在地区经济社会发展；中国则通过增加进口中亚铀矿，提高了核电发展的铀资源保障程度。合作开发主要模式有5类[21]。

2.3.1 贷款换铀矿合作模式

为确保铀矿长期持续的稳定供应，中核与中广核集团分别同哈原工和乌地矿委签订"贷款换铀矿"协议，在为哈、乌两国扩大铀矿开发提供所需资金的同时，两国则以所开发的铀矿通过外贸偿还。一般协议为8—10年甚至更长。

2.3.2 产量分成合作模式

在哈、乌两国拥有铀矿资源的所有权和专营权的前提下，中核和中广核集团通过签订协议，承担铀矿勘探开发所需的资金和技术投入，并从铀矿开发的效益中进行成本回收和产量分成。

2.3.3 联合经营合作模式

在新铀矿建设前，中核和中广核集团与哈原工分别按一定比例出资组建新合资公司（通常哈原工持股51%，中资公司持股49%）。合资公司作为独立法人从事铀矿资源勘探、开发、生产、运输和销售业务，合资双方共同承担经营风险和分担纳税责任。如北哈萨克斯坦州的舍米兹拜及扎尔帕克两家铀业合资公司均为此合作模式。

2.3.4 技术服务合作模式

中核与中广核集团发挥其技术、知识和管理优势，与哈原工及乌地矿委合作，为铀矿资源的勘探、开发、加工、运输提供先进的技术装备、管理经验，以此提升其铀矿开发利用整体水平。

2.3.5 全产业链合作开发模式

为提高铀矿资源开发的综合经济效益和提升其国际影响力，2009年哈萨克斯坦总统纳扎尔巴耶夫提出，要将该国从核资源开采大国转变为"国际燃料库"。因此，要求积极推进集铀矿开发、核燃料组件加工到核电站建设的全产业链合作模式（《第一财经日报》，2017-06-12）。在此背景下，中核及中广核与哈原工签署了全产业链合作协议，并提出"三步走"战略，即从铀矿贸易起

步，到合作开发铀矿，再扩展到核燃料组件生产和核反应堆建设；2015 年12月成立了核燃料组件合资公司，并于次年着手建设，为下一步合作建设核电站作准备。

3 铀矿合作开发对中国核电发展的资源保障程度

3.1 中亚地区铀矿开发前景预测

中亚铀矿合作开发规模主要取决于该区铀矿资源剩余可采储量的储采比，即剩余储量除以当年开采量得出的比值。这是预测开采规模的基础和依据。此外，也应考虑铀矿合作开发的投资规模，以及由于铀矿生产能力过剩而导致国际市场铀价长期低迷等因素。但总体来看，后两个因素具有不确定性，因而只能作为预测的参考。

中亚未来铀矿合作开发规模预测，由于主要依据铀矿可采储量等级不同而形成 2 个方案：① 基于哈、乌两国 2015 年统计的回收成本 <130 美元/千克铀的确定储量（合计 87.54 万吨）。按一般矿山储采比 30 年计算，考虑到铀资源开采中的折损率（按 20% 计算），未来 30 年年均开采量为 2.42 万吨铀，可供开采至 2045 年；如按储采比 35 年测算，则未来 35 年年均开采量为 2.08 万吨，可供开采至 2050 年。② 国际原子能机构基于哈、乌两国 2015 年回收成本 <130 美元/千克铀的探明储量（合计 33.04 万吨），并考虑国际市场天然铀价变化及产能过剩等因素。预测得出：2016—2020 年中亚铀矿产量仍将保持缓慢增长态势，从 2015 年的 2.62 万吨铀增至 2020 年的2.77 万吨铀，2020 年以后产量持续下降，2025 年为 2.2 万—2.3 万吨铀，2030 年为 1.7 万—1.8 万吨铀，2035 年将降为1.1 万—1.2 万吨铀[1]。其中减产的因素均来自哈萨克斯坦，而乌兹别克斯坦则维持 3 000 吨/年规模[1]。

基于上述分析，我们倾向以回收成本 <130 美元/千克铀的剩余确定储量作为预测主要依据，并参考国际市场铀价变化等因素，预测 2020 年中亚铀矿产量为 2.8 万吨铀，2025 年为 2.5 万吨铀，2030 年为 2.2 万—2.4 万吨铀，2035 年降至 2 万吨铀以下。

3.2 中亚铀矿对中国核电发展的资源保障程度

有关未来中国核电发展对铀矿的需求预测，中核集团专家根据新投产百万千瓦级核电机组的首炉初装料（折合天然铀约 400 吨），以及在运行的核反应堆每年需换料（折合天然铀约 175 吨）测算：2020 年中国核电对天然铀的需求量为 11 000 吨，其中国内铀矿企业产能 4 000 吨，中核及中广核集团海外开发 8 400 吨，缺口为 2 600 吨；2025 年和 2030 年天然铀需求量分别为 18 500 吨和 24 000 吨铀，其中国内铀矿企业产量分别为 5 000 吨和 5 500 吨铀，海外开发分别为 6 900 吨和 13 100 吨铀，缺口为 10 900 吨（图1）。

2007 年以前，中国核工业所需的铀矿进口来源较分散，包括加拿大、澳大利亚、哈萨克斯坦、纳米比亚、尼日尔、乌兹别克斯坦等国。2010 年以来，随着中国与哈、乌两国铀矿合作开发快速推进，中国已成为中亚铀矿的主要出口对象国。2010—2015 年，中国从中亚地区进口天然铀合计为 92 476 吨铀，占同期中亚铀矿总出口量的 51.3%[11,12]。据联合国商品贸易数据库（UN Comtrade）数据，2010—2016 年期间，在中国全部进口的 14 万吨天然铀中，约 67% 来自哈萨克斯坦，约 10% 来自乌兹别克斯坦，合计占比达 77%[11,12]。未来，通过进一步深化铀矿合作开发，在保持目前进口规模（2010—2015 年平均进口量 1.71 万吨铀）的基础上，2030 年前哈、乌两国每年完全有可能为中国提供 1.6—1.8 万吨天

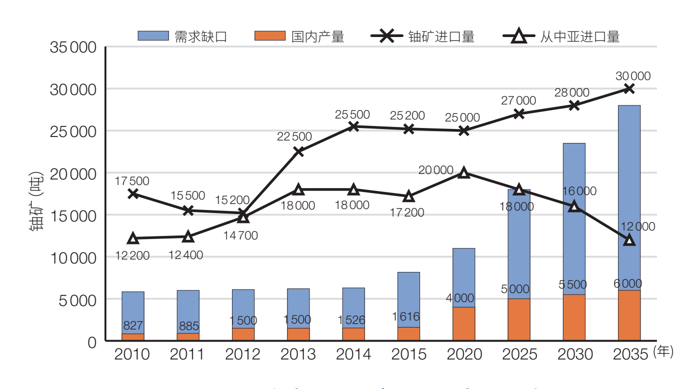


图 1　2010—2035 年中国铀矿产量、需求量和进口量

需求缺口 = 总需求量 – 国内产量。数据来源：参考文献 [1,2]；《中国核工业报》，2015-04-17；中国铀资源安全，https://www.sohu.com/a/148586680_799830 2017-06-13

然铀，届时中亚铀矿对中国核电发展的资源进口保障程度将达到70%—75%[11,12]。2030年以后，由于哈萨克斯坦70%的现有探明储量被开采，因此天然铀产量会呈明显下降趋势；加之中国核电发展规模不断扩大，2035年其进口保障程度将降至40%—50%。为此，必须及早寻找新的铀矿资源替代国家。

4 加强中国与中亚铀矿合作开发的对策建议

4.1 以“五通”新理念统领中国与中亚铀矿资源合作开发

2017年5月14日，习近平主席在“一带一路”国际合作高峰论坛的主旨演讲中指出，推进“一带一路”国际合作，必须秉持共商、共建、共享合作理念，加强政策沟通、设施联通、贸易相通、资金融通、民心相通，将“一带一路”建成和平之路、繁荣之路、开放之路、创新之路、文明之路。中国与中亚铀矿合作开发作为共建“一带一路”的重大合作内容，必须以“五通”新理念统领合作开发。其中，“政策沟通”是合作开发成败的关键，其重点建立与哈、乌两国政府间（含政府控制的国有企业）合作政策沟通交流机制，促进政治互信，深化利益融合，共同推动制定合作政策、规划和措施，协商解决合作中的问题。“设施联通”的重点是加强交通、能源、通信、供水、环保基础设施的联通与升级改造，改变哈、乌两国绝大部分基础设施落后局面。“贸易畅通”重点是推动铀矿开发全产业链合作，特别是加强铀矿资源加工、研发与贸易领域的全方位合作。“资金融通”针对铀矿勘探周期长、投资大、投资回报慢的特点，通过亚投行、丝路基金，以及中哈、中乌金融机构开展多边合作，多渠道筹集资金。“民心相通”要将改善民生福祉作为抓手，加强对合作区域及周边地区教育、文化、科技、卫生、防灾和减贫等方面的合作，增加就业岗位，改善人居环境，真正造福当地人民。

4.2 尽快编制《中国与中亚地区铀矿合作开发规划纲要》

在“一带一路”国际合作中，加强与沿线国家发展战略对接是落实开放合作、互利共赢、合作共享等共建原则的重要环节。2016年8月17日，习近平主席在推进“一带一路”建设工作座谈会上发表的重要讲话强调，“要切实推进规划落实，周密组织，精准发力”。为此，要加强中国“十三五”核电发展规划同哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦铀矿开发中长期规划的对接，尽快编制《中国与中亚地区铀矿合作开发规划纲要》，内容包括：合作的指导思想与原则、合作目标、合作的重点（重点领域、重点地区与重点项目）、合作的方式与机制、近中期重点合作项目的规划论证，以及合作的保障措施等，作为深化中国与中亚地区铀矿资源合作开发的科学依据。

4.3 明确未来合作开发的重点

在铀矿资源勘探方面，首先应将重点放在哈萨克斯坦南部楚河—萨雷苏河铀矿区的北矿区，加强地质勘探，提高资源的探明程度，特别是回收成本<130美元/千克铀的可采资源储量；其次为目前与中国合作开发的阿克莫拉铀矿区，通过向周边地区拓展，增加可采资源储量；最后，对乌兹别克斯坦的克孜勒库姆沙漠铀矿区，重点勘探开采成本较低砂岩型铀矿。

在铀矿开发方面，重点瞄准资源储量与开发潜力大的矿区。如位于楚河—萨雷苏河北矿区的因凯铀矿区（包括现已开发的因凯1、2、3矿及南因凯矿），现已探明的铀矿可采储量达31.93万吨，平均品位0.052%—0.056%，2015年实际产能为4 280吨铀[1,13]；按储采比，未来该矿区年生产能力有望达到1.0万—1.2万吨铀。因此，其可作为今后合作开发的重点矿区。

在天然铀加工方面，将合作建设核燃料组件企业置于优先地位，以实现哈萨克斯坦一直以来谋求的从核原料大国向附加值更高的核燃料供应商跃升目标，同时也可为提高中国核原料保障程度带来实实在在的好处。

4.4 不断提升中资企业在中亚铀矿合作开发中的地位与作用

中核与中广核集团作为中国参与中亚铀矿合作开发的主体，目前的合作领域主要围绕铀矿进口贸易，合作层

次有待提升。如2015年哈萨克斯坦18家铀矿和11家铀业合资公司中，中资企业仅各占2家，其所控制的铀资源可采储量仅5.39万吨铀，产能合计约2 200吨铀/年，仅占哈萨克斯坦全国总产能的不到10%[1,10,13]，这对未来中国天然铀的长期稳定供应极为不利。

今后，应依托中国与哈、乌两国良好的地缘政治和地缘经济关系，通过推进“一带一路”国际产能合作，特别要抓紧当前哈萨克斯坦亟待扩大引进外资推进铀矿体制改革的机遇（如2018年5月哈政府计划年内出让哈原工25%的股份），中资企业可充分发挥资金、技术和管理等优势，通过合资、参股、股权并购与收购等方式，力争到2030年，中资公司控股的铀矿产能占哈萨克斯坦的20%—25%、全部外资公司总产能的40%—50%。

4.5 大力充实天然铀产品储备

由于核电站安全运行需要有一定的铀储备（库存）作保障，国际上通常认为核电站需有5—8年的铀资源（U_3O_8及浓缩铀等）储备，以提高应对由于天然铀供应中断、价格大幅上涨对核电站安全运行的影响。这对天然铀对外依存度较高的中国更具现实意义。加之，由于铀的能量密度大，所需储备空间小，进行铀储备远比其他常规化石能源安全可靠的多。为此，美、俄、日、欧盟等国家和地区在20世纪60年代就建立了铀储备体系，并拥有大量的铀库存。据国际原子能机构披露，俄罗斯在苏联时期，从东欧、中亚和西伯利亚开采了大量铀矿，其天然铀及铀产品总库存达61.5万吨。2013年以来，俄罗斯每年向国际铀市场抛售3 000万—4 000万磅U_3O_8，并向国际市场供应大量核武器转化的高浓度铀（2015年达2 400万磅U_3O_8）。2013年美国国家储存的铀浓缩物、天然UF_6和浓缩UF_6为主的铀产品总量达4.6万—5.6万吨铀当量；此外，美国核电企业还有大量商业库存，并存有11.4万吨丰度高于0.34%的U_{235}贫铀尾料。欧盟及日本核电企业铀库存量也分别达5.3万吨和4.5万吨铀当量。

2010年以来，国际铀市场价格持续下滑。特别是2011年日本福岛核泄漏事件后，国际铀价长期保持在20—40美元/磅的低价位，中国利用此机会扩充了天然铀储备。据联合国商品贸易数据库数据显示，2010—2016年，中国天然铀的总进口量达14万吨铀，平均每年为2万吨，减去这一时期核电对铀矿的消费量，2016年中国天然铀的实际库存已超过10万吨铀。

从长远发展看，由于铀资源的稀缺性，随着全球核电的持续发展，未来铀价格将呈波动式上涨，并有可能达到甚至超过1 00美元/磅（2007年最高为136美元/磅）[5,8,22]。因此，中国应抓紧国际铀价低迷的机遇，继续从国际市场大量购进天然铀、铀浓缩物等多种铀产品，充实国家战略铀储备和企业商业铀储备（库存）。争取2020年达15万—20万吨，可为未来中国核电发展提供8—10年的铀资源储备。

4.6 重视防控和化解合作开发中的风险因素

中国与中亚铀矿合作开发存在的主要风险有：① 政治风险。中亚地区不仅是穆斯林聚居区，而且也是多种文化交汇碰撞区域。该地区民族宗教问题错综复杂，并存在宗教极端势力和国际恐怖势力，如“乌兹别克斯坦伊斯兰运动”和“伊扎布特”等恐怖组织活动猖獗，这对铀矿合作开发构成一定威胁。② 经济风险。由于铀矿合作开发具有建设周期长、投资规模大、资金回收时间长等特点。一般情况下，铀矿地质勘探从普查、详查到最后提交储量需10年左右，此后铀矿山建设还需4年左右时间。期间，受国际金融和投资所在国经济波动的影响，加之外商投资及优惠政策多变等因素，均会加大投资经济风险。③ 生态风险。中亚铀矿区大多地处沙漠区边缘，气候干旱，降水量稀少，生态环境十分脆弱，采用大规模地浸法开采铀矿，极有可能污染地表水及地下水，并波及周边城镇居民点。

因此，在中亚铀矿合作开发中必须重视防控和化解风险因素。在政府层面，要通过建立领导人会晤、政府间定期交流磋商和政策对接等措施，积极防范与化解安全、政治和生态等非经营性风险，引导企业防范宏观市

场与金融风险，完善应对机制。在项目投资决策层面，应加强对铀矿成矿地质背景、成矿条件和成矿规律的前期综合研究，对其开发的可行性与开发潜力做出准确判断；同时要加强对投资软、硬环境的综合研究，掌握并熟悉投资所在国的矿业政策、法律法规、防范法律制度和执行风险。在企业层面，应重点防范经营、技术风险，并兼顾其他社会、文化、安全方面风险。

参考文献

1 International Atomic Energy Agency. Uranium 2016: Resources, Production and Demand. Vienna: IAEA, 2016.

2 国土资源部信息中心. 世界矿产资源年评（2016）. 北京: 地质出版社, 2016.

3 陈正, 蒋峥. 中亚五国优势矿产资源分布及开发现状. 中国国土资源经济, 2012, (5): 34-39.

4 刘增浩. 哈萨克斯坦铀资源、生产及供需形势. 矿产与矿业, 2012, (4): 24-26.

5 原渊, 李建东, 史红霞, 等. 哈萨克斯坦地浸采铀生产现状与进展. 中国矿业, 2014, 23(11): 149-151.

6 厉芳. 乌兹别克斯坦的核能及多元国际合作. 黑龙江省对外经贸, 2011, (3): 38-40.

7 徐晓彤, 龙涛, 吴珊, 等.乌兹别克斯坦矿业投资前景分析. 中国矿业, 2017, 26(3): 77-80.

8 王世虎, 欧阳平. 全球铀矿业动态及中国应对策略. 中国国土经济, 2016, (5): 26-30.

9 陈民玺, 陈超. 哈萨克斯坦共和国矿业投资分析. 地质与勘探, 2013, 49(4): 791-796.

10 郭志锋. 哈萨克斯坦铀资源开发近况. 国外核新闻, 2012, (8): 19-21.

11 UN Comtrade. Extract Data. [2016-12-25]. https://comtrade.un.org/data.

12 Global legal insights. Energy 2017, 5th Edition – Uzbekistan. [2016-10-12]. https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/energy/global-legal-insights—energy-5th-ed./uzbekistan#chaptercontent1.

13 International Atomic Energy Agency. Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan. [2018-06-05]. http://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-%20g-n/kazakhstan.aspx.

14 闫强, 王建安, 王高尚. 中国铀矿资源概况与2030年需求预测. 中国矿业, 2011, 20(2): 1-5.

15 曾毅君. 创新铀矿冶炼技术支撑大基地建设. 中国核工业, 2015, (11): 25-27.

16 刘廷, 刘巧峰. 全球铀矿资源现状及核能发展趋势. 现代矿业, 2017, 26(4): 98-103.

17 戴军, 涂海丽. 我国铀矿业可持续发展存在的问题及对策. 科技广场, 2016, (8): 138-141.

18 张新伟, 吴巧生, 黎江峰, 等. 中国铀资源供给安全及影响因素分析. 中国国土经济, 2017, (10): 18-22.

19 姜巍, 高卫东. 低碳压力下中国核电发展及铀资源保障. 长江流域资源与环境, 2011, 20(8): 938-943.

20 唐超, 邵龙义, 陈万里. 中国铀矿资源安全分析.中国矿业, 2017, 26(5): 1-6.

21 陈关聚. 中国与中亚国家资源合作模式研究. 技术经济与管理研究, 2015, (6): 80-84.

22 黄文斌. 世界核电形势及铀矿资源. 中国矿业报, 2017-06-19.

Present Situation, Prospects, and Countermeasures of Uranium Mines' Cooperative Development Between China and Central Asia in Silk Road Economic Belt

MAO Hanying[1*] QU Jiansheng[2] LI Yaoming[3] BAO Shaoyong[1]

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2 Lanzhou Information Center, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

3 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract Kazakhstan and Uzbekistan in Central Asia are among the most abundant areas of uranium resources in the world, and have the characteristics of large uranium reserves, concentrated distribution, and favorable mining conditions. Since 2009, the uranium production has been ranked first in the world for a long time, accounting for 43.5% of the world's total extraction in 2016 (91% of which are distributed in Kazakhstan). The cooperation between China and the Central Asia in uranium mining started in 2005 and has developed rapidly since 2010. This study analyzed the necessity and feasibility of cooperation development of uranium mining between China and Central Asia, and elucidated the cooperative development model from uranium trade, uranium exploration and extraction, as well as processing of nuclear fuel components. Also, the prospect of cooperative development was predicted in this study. The main conclusions are as follows. Before 2030, the uranium mining in Central Asia could meet the requirement of 70% to 75% of China's nuclear power demand for imported natural uranium. Later, with the rapid consumption of uranium resources in Central Asia, the degree of guarantee in 2035 would fall to 40% to 50%. Finally, this study put forward several suggestions for strengthening and deepening cooperation development of uranium mining between China and Central Asia as following. Firstly, we ought to lead the cooperative development with the concept of "five links". Secondly, we need to compile the "outline for cooperation and development plan of China and Central Asia" as soon as possible. Thirdly, we should identify the focus of future cooperation and development. Fourthly, the status and role of Chinese-funded enterprises in cooperative development need to be continuously improved. Furthermore, we must pay attention to prevent and resolve the risks in cooperative development.

Keywords China, Central Asia, uranium mining, cooperative development, prospects, countermeasures



毛汉英 中国科学院地理科学与资源研究所研究员，国际欧亚科学院院士，区域与城市设计规划研究中心专家组长。曾任中国科学院地理研究所经济地理部主任，中国地理学会人文地理专业委员会主任，中国区域科学协会副会长，以及《地理学报》副主编等职务。主要研究方向为区域发展与区域规划、世界地理。先后主持过30多项国家及省部级下达或委托的科研项目，出版学术著作12部（含合著），发表学术论文200多篇，由其主持及主要参与的科研项目获中国科学院自然科学奖二等奖1项（1989年）、科技进步奖二等奖2项（1995和1999年），获省部级科技进步奖一等奖3项（1993，2013和2016年）、二等奖2项。1992年享受国务院颁发的政府特殊津贴，2009年获“中国科学院杰出科技成就奖”，2017年获“中国地理科学成就奖”。

E-mail: maohy@igsnrr.ac.cn

*Corresponding author

MAO Hanying Professor of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS), Academician of International Eurasian Academy of Sciences, Group leader of Regional and Urban Design and Planning Research Center. He used to be the director of the Department of Economic Geography in Institute of Geography, CAS, the director of the Human Geography Specialized Committee of the Geographical Society of China, the vice president of the China Regional Science Association, the Associate Editor-in-Chief of *Journal of Geographical Sciences*, and other duties. His main research areas are regional development, regional planning, and world geography. He has presided over more than 30 national and provincial or ministerial-level scientific research projects, published 12 academic works (including co-authorship), and published more than 200 academic papers. The scientific research project hosted by him has won one second prize of Natural Science of Chinese Academy of Sciences (1989), two second prizes for Scientific and Technological Progress (1995, 1999), and three first prizes (1993, 2013, 2016), 2 second prizes for provincial and ministerial scientific and technological progress. In 1992, he received special government grants from the State Council. In 2009, he was awarded the “Outstanding Scientific and Technological Achievement Award of the Chinese Academy of Sciences”, and in 2017, he was awarded the “China Geographical Science Achievement Award”. E-mail: maohy@igsnrr.ac.cn

■责任编辑：岳凌生